

徒歩移動を考慮した路線バス利用援助システムについて

*楠神 元輝, 川村 尚生, 菅原 一孔 (鳥取大学)

Path Planning System for Bus Network including Walking Transfer

Genki Kusugami, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara (Tottori University)

We have developed a path planning system for bus network as Web service. This system finds appropriate paths using location information of the starting point and destination obtained through GPS or landmark databases and the current time. Our path planning method can find paths including not only bus transfers but walking transfers. Besides, it can change cost functions dynamically. Experiments with three different cost functions are examined to validate the system.

キーワード：経路探索, Web サービス

Keywords: path planning, Web service

1. はじめに

鉄道などの公共交通機関で移動する際に、WWW 上で、あるいはパッケージソフトとして提供されている経路探索ソフトウェア⁽¹⁾を利用する人が増えてきた。経路探索ソフトウェアは、出発駅や到着駅等を入力することで、所要時間、運賃、乗換え案内などの経路情報を出力するものであり、当初は鉄道のみが経路探索の対象であった。しかし最近では、路線バスも含めた経路探索が少しずつ可能となってきた。鉄道よりも路線バスの方が経路探索の必要性は高いと言える。なぜなら鉄道では、駅の構内の路線図、運賃表から、また駅員に質問する事で上記の経路情報を入手できるが、路線バスでは入手できる情報は限られており、鉄道に比べ利用しづらい環境となっているからである。

現在の路線バスの経路探索には鉄道の経路探索手法がそのまま流用されているが、路線バスの経路には鉄道のそれとは異なる性質がある。それは、バス停の設置間隔が狭いため、バス停間を徒歩移動する事が十分考えられることである。そのため、徒歩移動を考慮していない探索手法では、路線バスを利用した移動において所要時間が最短となる経路を発見できない可能性がある。

そこで我々は、徒歩移動を考慮した路線バス利用援助システムを開発している。これまでに、利用者が移動を開始する地点(以後、出発地と呼ぶ)から、移動の目的となる地点(以後、目的地と呼ぶ)までを、徒歩もしくは路線バスによって移動する際に、所要時間が最短となる経路を探索する手法を開発し、提案手法に基づいた路線バス利用援助システムを作成した⁽²⁾。

しかしながら、所要時間が最短となる経路が、常に利用

者にとって最も望ましい経路というわけではない。他の経路評価の指標として、運賃、乗換え回数、徒歩による移動時間など様々なものが考えられる。利用者にとって満足度の高い経路を探索するには、これら複数の指標を適切に組み合わせることが必要である。最適な組み合わせ方を求めるには、強化学習などの知識工学的な手法が応用できると思われる。

複数の指標を組み合わせるための準備として、所要時間以外の指標によって経路を評価する手法を開発し、所要時間に対して乗換え回数と徒歩による移動時間を加味することで得られる経路がどのように異なるかを実験したので報告する。

本稿の残りは以下のように構成されている。まず、2章において、路線バス経路探索の特性を指摘する。続いて3章で提案する経路探索手法を説明し、4章で作成したシステムについて述べる。実験結果を5章で示し、本システムの有効性を確認する。最後に6章で結論を述べ、本稿をまとめる。

2. 路線バス経路探索の特性

上で述べたように、バス停はその設置間隔が狭いため、それらの間を徒歩で移動することが可能である。また、バス路線は鉄道とは異なり、2点間を最短距離で結ぶという発想ではなく、なるべく利用客が多い場所を通るように設計されているため、経路が複雑に入り組んでいる。そのため、徒歩移動が有効となる以下のような場合が存在する。

- 目的地の最寄りではないバス停で途中下車し、そこから徒歩で目的地まで移動する。この例を図1(a)に示す。
- 複数路線が乗入れる本来の乗換えバス停以外において

も、路線の異なるバス停間を徒歩で移動することで乗換える。この例を図1(b)に示す。

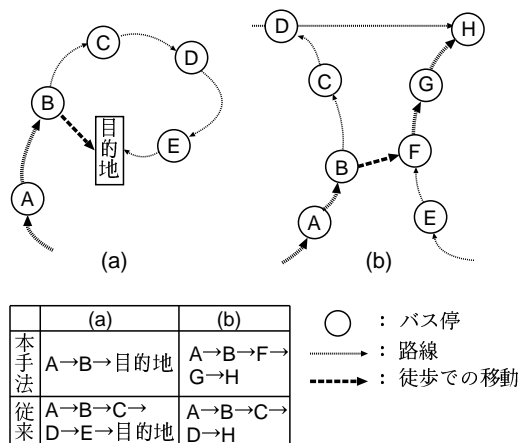


図1 徒歩移動が有効な例

Fig. 1. Bus routes including walking transfers.

したがって、バス路線の経路探索においては、徒歩移動の可能性を考慮することが有効であると考えられる。

3. 徒歩移動を考慮した路線バス経路探索手法

この章では、開発した路線バス経路探索手法について述べる。まず所要時間が最短となる経路を探索する手法を示した後、その手法を他の指標を考慮できるように拡張する。

〈3・1〉 路線バスネットワーク バス停を節、バスが運行する経路を辺とし、辺の重みを所要時間とすることで、路線バスネットワークが形成できる。同じ路線を走るバスでも時刻や曜日によっては停まる停留所数が少ない直行便になる場合があるが、これについては一般便が通る路線とは別の路線が存在するものとして扱う。

徒歩移動を考慮するには、バス停間を新たな辺で結び、その重みを徒歩による移動時間とすればよい。バス停 N_1 から N_2 までの徒歩による移動時間 $T_{N_1:N_2}$ を次式で与えられるものとする。

$$T_{N_1:N_2} = \lceil N \times d(N_1, N_2) \rceil \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 $d(N_1, N_2)$ はバス停 N_1 から N_2 までの直線距離、 N は定数である。

原理的には全バス停間を徒歩移動による辺で結ぶ必要があるが、徒歩による移動時間が一定以上の辺が経路に加わることは考えられないので、適当な T_1 を定め、徒歩による移動時間が T_1 以下のバス停間のみを結ぶこととする。

また、出発地と目的地も節としてネットワークに加える。原理的には、出発地から全バス停への辺、全バス停から目的地への辺が張られるべきであるが、同様に、適当な T_2 を

定め、出発地、目的地とも徒歩による移動時間が T_2 以下のバス停のみと結ぶこととする。

〈3・2〉 経路探索手法 〈3・1〉節で述べた方法で作成した路線バスネットワークのように、辺の重みが全て非負の重み付き有向グラフに対する単一始点最短経路問題の解法として、ダイクストラのアルゴリズム⁽³⁾がよく知られている。しかし、路線バスネットワークにこのアルゴリズムをそのまま適用することはできない。なぜなら、ダイクストラのアルゴリズムが固定的な辺の重みを要求するのに対し、路線バスネットワークでは、徒歩で到着したバス停からその次のバス停までの所要時間 (= 辺の重み) が静的には定まらないからである。この場合の所要時間は、バス停間の移動に要する時間と到着バス停での待ち時間の和となるが、到着時刻によって次のバスが来るまでの待ち時間が異なる。

路線バスネットワークの例を図2に示す。図中の○は節で、その中の数字は最短経路推定値を、()内の数字はその節への到着時刻を、[]内の数字はその時刻に次のバスが発車することを表す。

いま、出発時刻を10時00分とすると、バス停Aに到着する時刻は10時07分である。バス停Aでは10時10分にバスが出ることから、ここでの待ち時間は3分であり、バス停Aからバス停Bまでの所要時間は3+5=8分となる。同様にバス停Bからバス停Dまでの所要時間は3+7=10分となる。

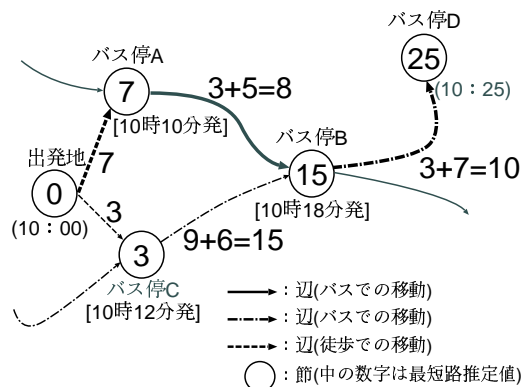


図2 路線バスネットワークの例

Fig. 2. Bus network at 10:00.

同じ路線バスネットワークで、出発時刻を10時05分に変更した場合を図3に示す。この場合、バス停Cにおいてのみ待ち時間が生じる。出発時刻が10時05分のとき、バス停Cに到着する時刻は10時08分である。バス停Cでは10時12分にバスが出ることから、ここでの待ち時間は4分であり、バス停Cからバス停Bまでの所要時間は4+6=10分となる。

以上のように、バス停への到着時刻によって次のバス停

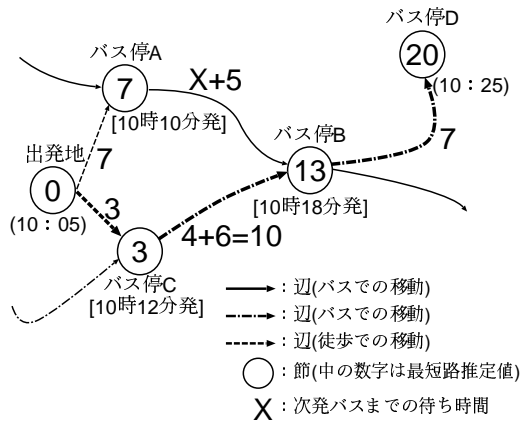


図 3 路線バスネットワークの例 2

Fig. 3. Bus network at 10:05.

までの所要時間は動的に変化する。そこで、到着時刻とバス停毎の時刻表から待ち時間を計算し、辺の重みを動的に決定できるようにした上でダイクストラのアルゴリズムを適用することにした。

〈3・3〉 複数の指標を考慮した経路探索手法

〈3・2〉節のアルゴリズムは所要時間が最短となる経路を探索するものであるが、他の経路評価の指標を辺の重みに反映させることで、それらの指標を考慮した経路探索へ適用することができる。

本稿では、所要時間、乗換え回数、徒歩による移動時間の3つを経路評価の指標とし、辺の重みを与える評価関数 E_v として以下のものを考える。

- (1) $E_v = W_t$ (所要時間)
- (2) $E_v = W_t$ (所要時間) + W_e (乗換え回数)
- (3) $E_v = W_t$ (所要時間) + W_w (徒歩による移動時間)

ここで、 W_t は所要時間そのもの、 W_e は乗換え回数に w_e を乗じたもの、 W_w は徒歩による移動時間に w_w を乗じたものとする。

(1) は〈3・2〉節で述べた手法のものと同じであり、(2) と (3) はそれぞれ乗換え回数と徒歩による移動時間を減少させることを狙った評価関数である。

4. 路線バス利用援助システム

3章で述べた手法に基づいてシステムを開発した。システムは Ruby 言語を用いて、CGI として実装されており、WWW から使用可能である。

入力画面を図4に示す。ここでは出発地、目的地、出発時刻の3つを入力する。出発時刻はあらかじめ現在時刻が設定されているため、その時刻に出発する場合においては入力項目は2つとなる。

出発地と目的地は建物名や地名によって指定する。また、出発地の入力に関しては携帯電話のGPS機能を用いて、出

発地の座標を測位し、その座標を入力とする事もできる(4)。

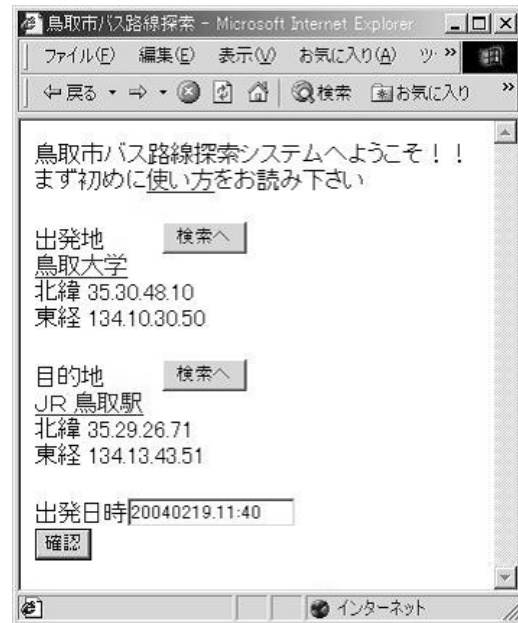


図 4 入力画面例

Fig. 4. Input screen of the system.

出力画面の最初のページを図5に示す。このページには、各探索結果へのリンクが張られており、利用者は要求に応じた探索結果を選択することができる。図5で最短経路探索を選んだ場合の出力画面を図6に示す。

システムの処理の流れを図7に示す。路線バスネットワークは、バス路線が変わらない限り不変の部分と、探索毎に変化する部分に分けられる。後者は、出発地および目的地の節と、それらから各バス停への辺である。本システムでは、最初に路線バスネットワークの不変部分を、バス停の座標情報、バス路線情報、バスの時刻表情報から構築してファイルに書き出し、以後はそのファイルを読み出して探索毎に変化する部分を追加することで高速化を図っている。

5. 実験

〈5・1〉 データ システムで扱うデータは、各路線上のバス停と、バス停間の所要時間を収めた「路線データ」、始発バス停の出発時刻を収めた「時刻表データ」、各バス停の緯度および経度を収めた「座標データ」の3種類である。「路線データ」と「時刻表データ」は、路線毎に分けられた各244個のファイルから構成されており、「座標データ」は1つのファイルである。また、「路線データ」と「時刻表データ」に関しては、鳥取県の日ノ丸バスと日交バスのデータを基に作成した。「座標データ」は、GPS受信器を用いて鳥取県東部に存在する915個のバス停の座標を測位し、作成した。

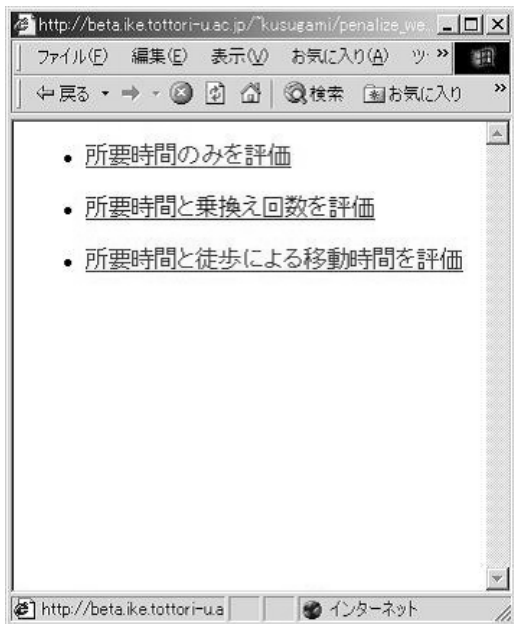


図 5 各探索結果へのリンク画面

Fig. 5. First output screen of the system shows links for results.

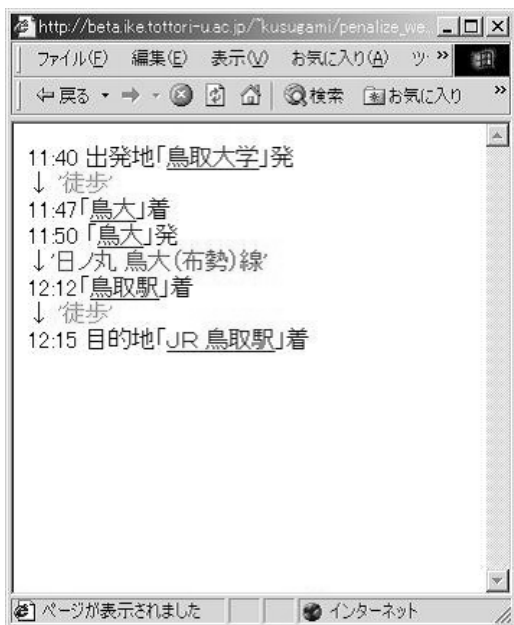


図 6 出力画面例

Fig. 6. Second output screen of the system shows a path from the starting point to the destination.

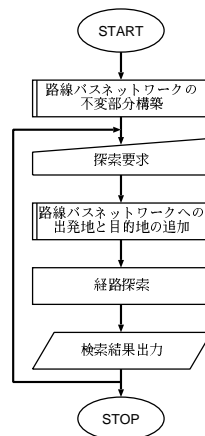


図 7 システムの処理の流れ

Fig. 7. Processing flow of the system.

短路推定値が整数であり、その最大値がそれほど大きくないことから、最短路推定値の種類が比較的少ない場合のみ使える one level bucket⁽⁵⁾ を使用することにした。

確認のため、最短路推定値の上限に $180(=60[\text{分}] \times 3 = 3 \text{時間})$, $1440(=60[\text{分}] \times 24[\text{時間}] = 1[\text{日}])$, $10080(=60[\text{分}] \times 24[\text{時間}] \times 7[\text{日}] = 1 \text{週間})$ という値を用いて実験を行った。表 1 に示されているように、最短路推定値の上限がいずれの場合でも one level bucket の方がはるかに高速となった。

表 1 各データ構造を用いた探索時間の比較

Table 1. Path planning time.

最短路推定値の上限	180	1440	10080
priority queue	9.088(s)	10.085(s)	11.839(s)
one level bucket	0.054(s)	0.065(s)	0.136(s)

〈5・3〉 経路探索実験

〈5・3・1〉 徒歩移動を考慮することの有効性の確認実験
徒歩による移動を考慮することで出発地から目的地までの移動時間が短縮できるか確認するため実験を行った。

なお、〈3・1〉節の N は $1/30$, T_1 は 10 , T_2 は 10 とした。 T_1 および T_2 の値は、バス停が見つからない場合、見つかるまで 10 ずつ増やしていく。

入力条件を

- (1) 出発地 「日本きのこセンター」
- (2) 到着地 「鳥取空港」
- (3) 出発時刻 14 時 00 分

とし、バス停間の徒歩移動を考慮しない、すなわち、本システムにおいてバス停間の徒歩移動による辺を生成しない場合の探索結果を図 8 に示す。

次に同じ条件で、徒歩移動を考慮し、所要時間のみを経

〈5・2〉 priority queue, one level bucket の比較
ダイクストラのアルゴリズムでは、緩和法を行う際に路線バスネットワーク中の節の最短路推定値が最小である節を選出する必要がある。そのために使用するデータ構造としては、priority queue が一般的であるが、本研究では、最

14:00 出発地「日本きのこセンター」発
 ↓ 徒歩
 14:08 「興南町」着
 14:46 「興南町」発
 ↓ 日交 南大橋線
 14:53 「鳥取駅」着
 15:00 「鳥取駅」発
 ↓ 日ノ丸 鳥大(布勢)線
 15:20 「湖山西」着
 ↓ 徒歩
 15:40 目的地「鳥取空港」着

図 8 バス停間の徒歩移動を考慮しない場合の経路探索結果

Fig. 8. Path planning result including no walking transfer between bus stops.

路評価の指標とした探索の結果を図 9 に示す。この経路は 1 回の徒歩移動を含み、図 8 の経路と比べて所要時間が 9 分短くなっている。

14:00 出発地「日本きのこセンター」発
 ↓ 徒歩
 14:05 「南中前」着
 14:06 「南中前」発
 ↓ 日交 大覚寺線
 14:12 「雲山南団地」着
 ↓ 徒歩
 14:20 「雲山」着
 14:33 「雲山」発
 ↓ 日交 若桜線
 14:48 「県庁日赤前」着
 14:49 「県庁日赤前」発
 ↓ 日交 十六本松線
 14:56 「東秋里」着
 14:58 「東秋里」発
 ↓ 日ノ丸 鹿野・青谷線
 15:11 「湖山西」着
 ↓ 徒歩
 15:31 目的地「鳥取空港」着

図 9 バス停間の徒歩移動を考慮した場合の経路探索結果

Fig. 9. Path planning result including a walking transfer between bus stops.

〈5・3・2〉 複数の指標による経路探索実験 〈5・3・1〉節と同じ探索条件で、所要時間と乗換え回数を経路評価の指標とした探索を、 w_e を 100 として行なった。探索結果を図 10 に示す。この経路では、図 9 の経路に比べ、乗換え回数が 4 回から 2 回に減少している。

以下にそれぞれの経路探索結果を地図上に表す。

〈5・3・3〉 所要時間及び徒歩による移動時間を経路評価の指標にした探索実験 出発地は先の条件と同じで、到着地を「県立青谷高等学校」、出発時刻を 15 時 00 分に変

14:00 出発地「日本きのこセンター」発
 ↓ 徒歩
 14:08 「興南町」着
 14:46 「興南町」発
 ↓ 日交 南大橋線
 14:53 「鳥取駅」着
 ↓ 徒歩
 14:59 「今町(市内)」着
 15:02 「今町(市内)」発
 ↓ 日ノ丸 鳥大(布勢)線
 15:20 「湖山西」着
 ↓ 徒歩
 15:40 目的地「鳥取空港」着

図 10 所要時間及び乗換え回数を経路評価の指標にした場合の経路探索結果

Fig. 10. Path planning result under the cost function for the total traveling time and the number of transfers.



図 11 地図上での経路の比較

Fig. 11. Two routes on a map.

更した時の、所要時間のみを経路評価の指標とした探索の結果を図 12 に示す。

同じ条件で、所要時間と徒歩による移動時間を経路評価の指標とした探索を、 w_w を 30 として行った。探索結果を図 13 に示す。この経路では、図 12 の経路に比べ、経路の最初のバス停から最後のバス停までの間の徒歩による移動時間が 29 分から 24 分に減少している。

6. おわりに

本稿では、路線バスの経路検索において、複数の指標によって経路を評価する手法を提案し、提案手法に基づいて開発した路線バス利用援助システムについて述べた。また、所要時間、乗換え回数、徒歩による移動時間の 3 種類の指標を用いて経路を評価した場合の実験結果を示した。実験結果より、評価関数を変えることでそれに応じた経路が探索されることがわかった。

15:00 出発地「日本きのこセンター」発
 ↓ 徒歩
 15:05 「南中前」着
 15:06 「南中前」発
 ↓ 日交 大覚寺線
 15:12 「雲山南団地」着
 ↓ 徒歩
 15:20 「雲山」着
 15:34 「雲山」発
 ↓ 日交 若桜線
 15:37 「桜谷口」着
 15:40 「桜谷口」発
 ↓ 日交 桜谷団地線
 15:49 「新町一丁目」着
 ↓ 徒歩
 15:57 「小学校前(浜村小)」着
 17:29 「小学校前(浜村小)」発
 ↓ 日ノ丸 勝部(浜村・船磯・コクヨ)線
 17:40 「青谷海水浴場」着
 ↓ 徒歩
 17:48 目的地「県立青谷高等学校」着

- <http://www.ekiworld.net/>.
- (2) 楠神元輝, 三好力, 川村尚生, 菅原一孔. 徒歩による移動を考慮した路線バス利用援助システム. IEEE 広島支部 学生シンポジウム論文集, pp. 202-204, 12 2003.
 - (3) T. カルメン C. ライザーソン R. リベスト. アルゴリズムイントロダクション, 第 2 巻, 第 25 章. 近代科学社, 1995.
 - (4) 梶縮洋治, 三好力, 川村尚生, 菅原一孔, 増山博, 笹間俊彦. ホームページ解析によるランドマーク位置情報検索. 電気・情報関連学会中国支部第 54 回連合大会講演論文集, p. 566, 10 2003.
 - (5) Andrew V. Goldberg. Andrew V. Goldberg's Home Page. <http://www.avglab.com/andrew/>.

図 12 所要時間のみを経路評価の指標にした場合の経路探索結果

Fig. 12. Path planning result under the cost function for the total traveling time.

15:00 出発地「日本きのこセンター」発
 ↓ 徒歩
 15:08 「興南町」着
 15:57 「興南町」発
 ↓ 日交 桜谷・面影循環線
 16:12 「三洋本社」着
 16:22 「三洋本社」発
 ↓ 日交 桜谷団地線
 16:25 「新町一丁目」着
 ↓ 徒歩
 16:33 「小学校前(浜村小)」着
 17:29 「小学校前(浜村小)」発
 ↓ 日ノ丸 勝部(浜村・船磯・コクヨ)線
 17:40 「青谷海水浴場」着
 ↓ 徒歩
 17:48 目的地「県立青谷高等学校」着

図 13 所要時間及び徒歩による移動時間を経路評価の指標にした場合の経路探索結果

Fig. 13. Path planning result under the cost function for the total traveling time and the total walking time.

利用者にとって満足度の高い経路を探索するために、強化学習などの知識工学的な手法を適用し、どのような指標をどう組み合わせるべきかを検討することが今後の課題である。

文 献

- (1) 株式会社ヴァル研究所. 駅すばあとワールド.